

В.Н. Павлыш, С.С. Гребенкин, В.Д. Рябичев, С.Е. Топчий

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ

Рассматривается задача проектирования и расчета параметров технологии гидравлического воздействия на анизотропный угольный пласт с учетом движения жидкости в плоскости пласта и вкрест напластования. Обосновано применение математического моделирования для повышения качества проектов.

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ГІДРАВЛІЧНОЇ ДІЇ НА ПЛАСТ

Розглянуто задачу проектування та розрахунку параметрів технології гідравлічної дії на анізотропний вугільний пласт з урахуванням руху рідини у площині пласта і вкрест напластування. Обґрунтовано використання математичного моделювання для підвищення якості проектів.

THE APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING FOR SOLUTION OF DESIGN TASK OF TECHNOLOGIC SCHEMES OF HYDRAULIC TREATMENT ON COAL SEAM

The task of projecting and parameters calculation of technology of hydraulic treatment on anisotropic coal stratum with moving liquid in stratum plane and contrary is considered. The application of mathematical modeling for rise of project quality is substantiated.

ВВЕДЕНИЕ

Применение способов и схем предварительного нагнетания жидкостей для борьбы с проявлениями опасных свойств угольных пластов является обязательным на шахтах и регламентировано нормативными документами [1]. Однако эффективность воздействия по уменьшению числа опасных явлений в шахтах и их интенсивности не всегда высока. Одной из причин этого является то, что на этапе проектирования предварительная оценка схем весьма затруднена ввиду сложности процесса.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Применение математического моделирования позволяет улучшить качество принимаемых проектных решений. С этой целью разрабатывается подсистема автоматизированного проектирования технологических схем гидравлической обработки угольных пластов.

Процесс проектирования включает ряд этапов, в том числе рассмотрение и оценка вариантов проектов, обоснование и вери-

фикация принимаемых проектных решений. По мере усложнения технологий, расширения числа возможных вариантов проектов возникает необходимость автоматизации процесса проектирования с применением методов математического моделирования и ЭВМ. В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы – обоснование эффективности применения математического моделирования и компьютерных технологий в процессе проектирования технологии гидравлического воздействия на анизотропные угольные пласты.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Основным наиболее широко применяемым на шахтах Украины способом является напорное нагнетание воды или воды с добавками ПАВ в режиме фильтрации с использованием насосных установок. В зависимости от целей воздействия и конкретных условий для нагнетания используются короткие скважины, пробуренные перпендикулярно плоскости забоя из очистной или подготовительной выработки (локальный способ), и длинные скважины, пробуренные из подготовительной выработки параллельно очистному забою (региональный способ) [1].

Наиболее перспективными с точки зрения качества обработки являются длинные скважины, пробуренные из пластовых подготовительных выработок параллельно линии очистного забоя. Расположение длинных скважин в ненарушенном массиве приводит к более равномерному распределению влаги по пласту, а длительное время контакта жидкости с углем – к глубокому ее проникновению в поры и трещины. Кроме того, нагнетание через длинные скважины производится независимо от технологического цикла угледобычи и менее трудоемкое.

Преодоление фильтрационной анизотропии угольных пластов, уменьшение величины необработанных участков и, в ко-

нечном итоге, повышение качества обработки могут быть достигнуты при использовании нагнетания жидкости через каскад (группу) скважин. Сущность способа заключается во взаимодействии встречных потоков жидкости от одновременно работающих скважин, что обеспечивает создание в пласте областей высокого давления, соизмеримого с давлением на скважинах, и насыщение за счет этого участков с низкой проницаемостью [2].

Проектирование схем гидравлического воздействия на угольный пласт должно включать выбор способа, технологической схемы, оборудования и параметров нагнетания при максимально возможном учете всех влияющих факторов. Такой учет может быть сделан заблаговременно с использованием имитации процесса распространения жидкости в пласте на программной модели, реализуемой ЭВМ. При этом проектирование будет включать три стадии: описательную, расчетную и моделирование. На первой стадии проектировщик составляет описание угольного пласта и вмещающих пород, технологической схемы горных работ на данном участке, определяет цель воздействия. На второй стадии производится выбор способа и технологической схемы нагнетания, с учетом анизотропии устанавливается распределение проницаемости, предварительно определяются параметры нагнетания. Эта стадия заканчивается составлением комплекта исходных данных для моделирования, которые могут быть описательными и числовыми. И наконец, последняя стадия ставит своей целью апробирование выбранного способа, схемы и параметров на модели, исследование различных вариантов и, при необходимости, корректировку исходных данных и проведение повторных расчетов [3].

В качестве примеров рассмотрены два варианта исследования распространения жидкости: в плоскости пласта при нагнетании через длинные скважины и в плоскости, перпендикулярной напластованию, при нагнетании через короткие скважины.

Пример 1. Угольный пласт в зоне обработки мощностью 1,2 м, одиночный, залегает на глубине 400 м, представлен одной пачкой угля марки «А» I степени нарушенности. Угол падения пласта 4°. Кливаж развит по простиранию. Пласт не опасен по внезапным выбросам; по пылевыведению отнесен к VII группе.

В почве пласта залегает крепкий песчаный сланец, кровля представлена глинистым сланцем средней крепости.

Зону обработки пересекает мелкоамплитудное тектоническое нарушение без разрыва сплошности вмещающих пород, проявляющееся в увеличении мощности пласта с 1,2 до 1,4 м, перемятости угля до IV степени нарушенности. Протяженность зоны перемятого угля вкрест простирания нарушения 10 м, угол встречи с линией очистного забоя 60°.

По данным опытных нагнетаний рассчитаны фильтрационные и коллекторские характеристики пласта: коэффициент проницаемости $k = 1,0$ мд; эффективная пористость $n_{\text{э}} = 0,02$; коэффициент фильтрационной анизотропии $A = 6$. Ориентировочный разброс значений проницаемости в ненарушенной зоне составляет 10 – 50 раз. Исследование распределения прироста влажности при опытном нагнетании воды через длинную скважину показало, что максимальные размеры необработанных участков составляют 5×10 м, эти размеры можно принять характерными для зон с одинаковой проницаемостью. Расстояние от стенки подготовительной выработки до пика опорного давления 10 м. Давление газа в пласте $P_{\Gamma} = 8$ кгс/см.

Угольный пласт разрабатывается по столбовой системе, лавами по восстанию с использованием очистного механизированного комплекса КМ-879. Длина выемочного столба 1000 м, длина лавы 150 м, подвигание за сутки составляет 2 м. Режим работы: 3 смены по 6 часов с двухчасовыми перерывами для взрывных работ. В первую половину I смены производятся ремонтно-подготовительные работы.

С целью профилактики пылеобразования предусматривается нагнетание воды в угольный пласт через длинные скважины, параллельные очистному забояю. По первоначальному проекту нагнетание осуществляется последовательно в каждую скважину с темпом, равным производительности выбранного насоса, в режиме фильтрации и считается законченным при подаче в пласт расчетного количества воды.

Нагнетание моделировалось в режиме постоянного давления. При использовании каскадной обработки на скважинах каскада поддерживался приблизительно одинаковый темп подачи воды путем регулирования давления на скважинах.

Распределение условного прироста влажности при каскадном нагнетании в зоне геологического нарушения приведено на рис. 1. Штриховкой показаны необработанные участки в пределах проектной зоны.

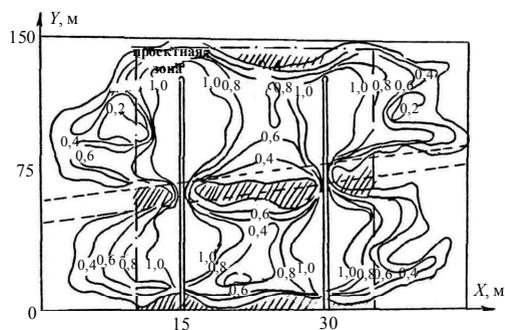


Рис. 1. Распределение влаги на участке геологического нарушения при каскадном нагнетании через две скважины

Невысокая равномерность прироста влажности, как видно из рис. 1, обусловлена низкой проницаемостью угля в зоне геологического нарушения. С целью исследования возможности повышения равномерности увлажнения промоделировано каскадное нагнетание по непрерывной технологии. Результаты моделирования показали существенное повышение качества обработки (см. рис. 2) Темп нагнета-

ния и время, требуемое для закачки проектного объема в каждую скважину, соответствуют рассчитанным для одиночной скважины.

На основании результатов моделирования разработан проект гидродинамического воздействия на угольный пласт. Технологическая схема нагнетания представлена на рис. 3.

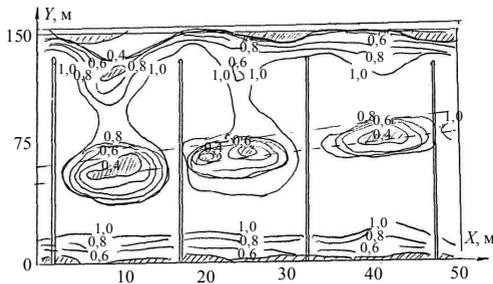


Рис. 2. Распределение влаги на участке геологического нарушения при непрерывной каскадной обработке

В комплект технологического оборудования для нагнетания входят: 1 – насосная установка 2УГНМ; 2 – вентили-тройники; 3 – счетчики-расходомеры высокого давления (СРВД-20); 4 – манометр; 5 – герметизатор (гидрозатвор «Таурус», цементно-песчаная герметизация); 6 – рукава высокого давления; 7 – напорные рукава; 8 – вентиль регулирующий проходной. В зависимости от наличия оборудования могут быть использованы насосные установки типа НВУ-30М в комплексе с водомерами и манометрами. В зависимости наличия оборудования могут быть использованы насосные установки типа НВУ-30М в комплексе с водомерами и манометрами.

Нагнетание в ненарушенной зоне производится одновременно через две скважины, на участке геологического нарушения – через три скважины, две из которых являются нагнетательными, одна – вспомогательной.

Нагнетание воды в угольный пласт в соответствии с разработанными рекомендациями позволит довести площадь обработанной области в проектной зоне до 95% и в 2 раза уменьшить коэффициент вариации прироста влажности.

Пример 2. Угольный пласт мощностью 2,3 м, одиночный, залегает в зоне обработки на глубине 650 м, сложен пятью пачками угля марки ОС различных степеней нарушенности (см. табл. 1). Угол падения пласта 15°. Кливаж развит по восстанию. Пласт отнесен к опасным по внезапным выбросам угля и газа.

Непосредственная кровля пласта – глинистый сланец, слабоустойчивый, склонный к обрушению, непосредственная почва – крепкий глинистый сланец.

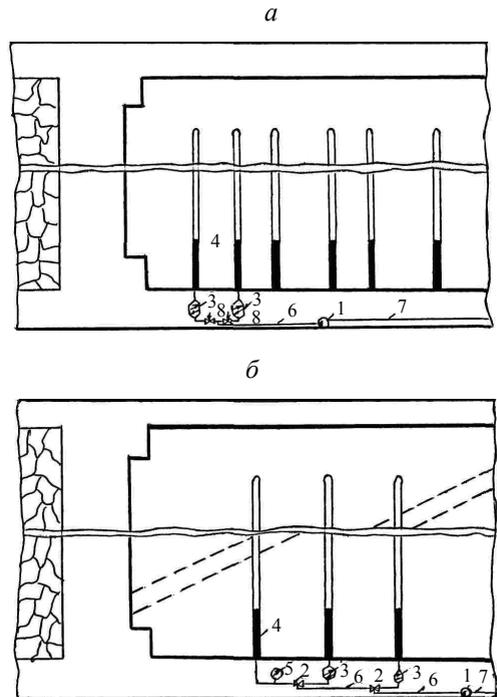


Рис. 3. Технологическая схема каскадного нагнетания воды в угольный пласт: а – в ненарушенной зоне (группами по 2 скважины); б – на участке геологического нарушения (непрерывная обработка)

Номер пачки	I	II	III	IV	V
Мощность, м	0,42	0,53	0,37	0,72	0,26
Степень нарушенности	IV	I	II	I	II

По данным опытных нагнетаний через скважины, пробуренные: нагнетательная – по IV пачке, отточные – по II и IV пачкам, рассчитаны: коэффициент проницаемости по напластованию $k_x = 0,4$ мд, вкрест напластования $k_z = 0,03$ мд, эффективная пористость $n_{\text{э}} = 0,015$. Давление газа в пласте $P_{\Gamma} = 25$ кгс/см².

Угольный пласт разрабатывается по сплошной системе с использованием комбайна 1ГШ68 с индивидуальной крепью. Режим работы: 4 смены по 6 ч (две добычные и две ремонтно-подготовительные).

Откаточный штрек проводился по пласту угля с подрывкой боковых пород в режиме сотрясательного взрывания со средней скоростью 30 м/мес. Ширина выработки составляет 5 м.

В забое откаточного штрека в качестве локального способа борьбы с внезапными выбросами угля и газа предусмотрено нагнетание воды в режиме гидрорыхления через две короткие скважины (см. рис. 4, б). Вода нагнетается последовательно в каждую скважину или одновременно через обе скважины.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Таблица 2

Номер пачки	I	II	III	IV	V
k_x , мд	0,02	0,40	0,13	0,40	0,13
k_y , мд	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03

Нагнетание осуществляется в режиме постоянного давления, приемистость при-скважинных участков пласта принимается одинаковой. Поскольку породы кровли и почвы не являются непроницаемыми, на верхней и нижней границах задается условие III рода.

Радиус эффективного влияния каждой скважины составляет 4 м с учетом обработки четырехметровой зоны за контуром выработки. Глубина герметизации с учетом недельного подвигания забоя выработки принимается равной 7 м. Длина скважины $l_c = 10$ м, диаметр $d_c = 43$ мм, величина неснижаемого опережения $l_{н.о.} = 2$ м.

В данном случае практический интерес представляет моделирование процесса распространения воды в вертикальном сечении угольного пласта ввиду его сложного строения.

Исходные данные для моделирования приведены в табл. 2. Ось X принимается параллельной напластованию (см. рис. 4).

При расчете принято предположение, что для первой пачки $A = 1$, поскольку в углях IV степени нарушенности экзогенные трещины затушевывают как трещины напластования, так и эндогенные.

Проницаемость пород кровли принимается равной 0,001 мд, почвы – 0,0001 мд.

Распределение прироста влажности при нагнетании через одиночную скважину, пробуренную по IV пачке, приведено на рис. 4, а. Нагнетание через каскад скважин позволяет существенно повысить равномерность обработки (рис. 4, б).

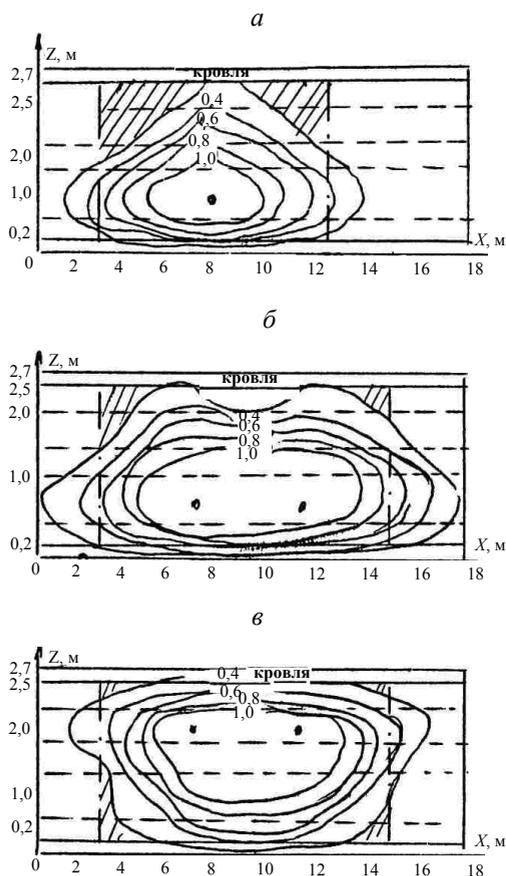


Рис. 4. Распределение жидкости в плоскости, перпендикулярной напластованию: а – одиночная скважина; б – каскад скважин (по IV пачке); в – каскад скважин (по II пачке)

Однако, как видно из рис. 4, б, необработанным остается уголь I пачки, являющейся наиболее нарушенной и, следовательно, наиболее выбросоопасной. Устранить этот недостаток можно, расположив скважины во II пачке. Распределение условного прироста влажности в этом случае приведено на рис. 4, в.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Как видно из рис. 4, расстояние проникновения воды в кровлю составляет не

более 5 см, т.е. нагнетание не может привести к существенному ее размыву.

Исследование параметров показало, что время обработки при каскадном нагнетании составляет 6 – 7 ч, что соответствует рассчитанному значению для одиночной скважины.

Таким образом, моделирование нагнетания воды в угольный пласт дало возможность выбрать рациональную схему расположения скважин и способ нагнетания, позволяющие на 76% уменьшить площадь необработанной зоны и в 2,6 раза – коэффициент вариации условного прироста влажности в проектной области. Применение полученных результатов в практике работ исследовательских и проектных организаций по совершенствованию технологии гидравлической обработки угольных пластов даст возможность сократить сроки и повысить эффективность разработок.

ВЫВОДЫ

Многообразие горно-геологических и горнотехнических условий, фильтрационных и коллекторских характеристик угольных пластов, технологических схем нагнетания не позволяет разработать рекомендации для всех случаев применения гидродинамического воздействия. В то же время, при выборе конкретной схемы или способа не всегда учитываются некоторые факторы, существенно влияющие на результат обработки, кроме того, зачастую неизвестна степень влияния того или иного фактора на эффективность воздействия. При составлении паспорта на ведение работ это приводит к необходимости либо принять типовые рекомендации без учета некоторых свойств пласта, тем самым в недостаточной степени использовать эффект гидравлического воздействия, либо проводить трудоемкие натурные исследования. С этой точки зрения помощь проектировщику может оказать система автоматизированного проектирования (САПР)

гидравлического воздействия на угольный пласт, позволяющая выбрать схему, технологию и параметры нагнетания с учетом

конкретных условий без проведения всего комплекса шахтных исследований.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДНАОП 1.1.30-1.ХХ-04 *Безопасное ведение горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям* (1-я ред.). – К.: Минтопэнерго Украины, 2004. – 268 с.

2. Павлыш В.Н. *Физико-технические основы процессов гидравлического воздействия на угольные пласты: монография* / В.Н. Павлыш, С.С. Гребенкин. – Донецк: «ВИК», 2006. – 269 с.

3. Павлыш В.Н. *Основы теории и параметры технологии процессов гидроневматического воздействия на угольные пласты: монография* / В.Н. Павлыш, Ю.М. Штерн. – Донецк: «ВИК», 2007. – 409 с.

ОБ АВТОРАХ

Павлыш Владимир Николаевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой вычислительной математики и программирования Донецкого национального технического университета.

Гребенкин Сергей Семенович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой горного дела Антрацитовского горно-транспортного факультета Восточноукраинского национального университета им. В. Даля.

Рябичев Виктор Дронович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой инженерных дисциплин Антрацитовского горно-транспортного факультета Восточноукраинского национального университета им. В. Даля.

Топчий Сергей Евгеньевич – к.т.н., заместитель научного руководителя Луганского научно-технического центра Академии горных наук Украины.